

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ23

Грушин И.А., Крылов С. А., Петров А.А., Попова Ю.А.

Руководитель – к.т.н., доцент Панин П.В.

ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского»,
121552, Москва, ул. Оршанская, д.3

Для соединения крупногабаритных конструкций из титановых сплавов применяют метод электронно-лучевой сварки (ЭЛС), позволяющей соединять детали толщиной до 120 мм [1, 2].

В результате ЭЛС в сварном шве (СШ) и зоне термического влияния (ЗТВ) возникают значительные локальные упругие деформации, которые не исчезают после полного завершения сварочного цикла, что приводит к формированию остаточных макронапряжений, оказывающих влияние на свойства сварного соединения. Кроме того, формирование неравновесной структуры в СШ, основном металле и ЗТВ обуславливает низкие свойства, в первую очередь – ударную вязкость. Поэтому сварные конструкции подвергают дополнительной термической обработке с целью выравнивания структуры по сечению, снижения сварочных напряжений и, соответственно, получения более однородных свойств [3, 4].

Для сварки силовых крупногабаритных конструкций применяют высокопрочный титановый сплав ВТ23. Однако для этого сплава характерна высокая неоднородность структуры сварных соединений, поэтому необходимо разработать режимы термической обработки, обеспечивающих равную прочность основного металла и сварного шва.

Наиболее распространенным режимом термической обработки сварных конструкций является отжиг для снятия напряжений при температуре 750°C. Однако такая обработка не позволяет реализовать потенциальный запас прочности сплава ВТ23. Значения прочности основного металла после отжига при 750°C не превышают 1000 МПа, что не отвечает требованиям, предъявляемым к современным конструкциям. Таким образом, необходимо разработать режимы термической обработки, которые не только позволят повысить ударную вязкость сварного соединения, но и обеспечат в основном материале прочность выше 1000 МПа. В работе [5] было показано, что для обеспечения прочности крупногабаритных полуфабрикатов из сплава ВТ23 на уровне не ниже 1100 МПа необходим предварительный отжиг при температурах 860–890°C в течение 2–3 часов с ускоренным охлаждением на воздухе. Поэтому в настоящей работе образцы, вырезанные из плиты сплава ВТ23, сначала подвергали отжигу при 860°C, а затем сваривали методом ЭЛС (со скоростью $3,75 \cdot 10^{-3}$ м/с при токе 147 мкА). Далее проводили старение

образцов, содержащих сварные соединения, в печах с воздушной атмосферой при температурах 550, 575, 625 и 650°C с последующим охлаждением на воздухе. Проведенные металлографические исследования и механические испытания показали, что в отличие от отжига при 700 и 750°C, не оказывающего влияния на структуру основного металла, предварительная высокотемпературная обработка (до ЭЛС) и старение приводят к качественному изменению его структуры – в области основного металла формируется дисперсная структура, обеспечивающая высокие значения прочности. Однако следует отметить, что дисперсная структура также является причиной пониженной ударной вязкости, значение которой тем меньше, чем мельче размер структурных составляющих, т. е. чем ниже температура старения.

Таким образом, для преобразования структуры всех зон сварного соединения необходимо проводить двухступенчатую термическую обработку – первая высокотемпературная ступень должна обеспечивать создание структуры, содержащей метастабильную β -фазу, которая будет претерпевать распад при последующем низкотемпературном старении (вторая ступень).

Проведенные исследования и анализ литературных данных позволили подобрать наиболее перспективные режимы двухступенчатой термической обработки. Первая ступень – высокотемпературный отжиг в верхнем интервале $(\alpha+\beta)$ -области при температурах 860°C с охлаждением на воздухе. Вторая ступень – старение при температуре 625°C. Выдержка при этой температуре обеспечивает наибольшую релаксацию остаточных напряжений при незначительном снижении твердости по сравнению с состоянием после ЭЛС (рис. 1, 2).

Термическая обработка в печах с воздушной атмосферой приводит к образованию окалины на поверхности полуфабрикатов, которую необходимо убирать с помощью механической или химической обработок. Поэтому сложные сварные конструкции необходимо обрабатывать в вакуумных печах или в печах с защитной атмосферой, скорость охлаждения в которых значительно меньше, чем на воздухе.

Нагрев в вакууме до 860°C с последующим медленным охлаждением (0,1 К/сек) до температуры 625°C и старением в течение 4-х часов приводит к формированию однородной структуры по сечению, однако твердость материала не превышает 37,5 ед. HRC (рис. 2). Это приводит к тому, что прочность сварного соединения понижается до 1040 МПа, при этом ударная вязкость возрастает до 0,63 МДж/м².

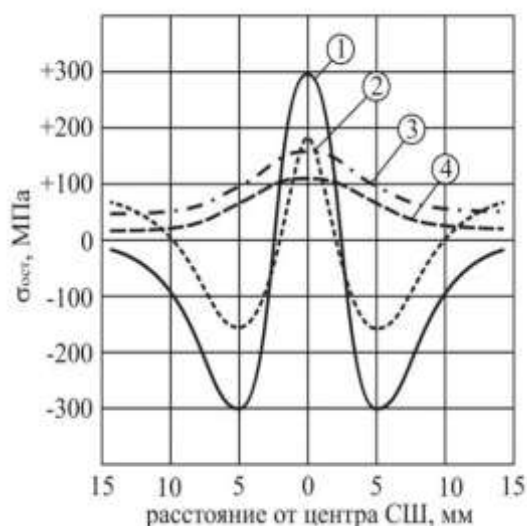


Рис. 1

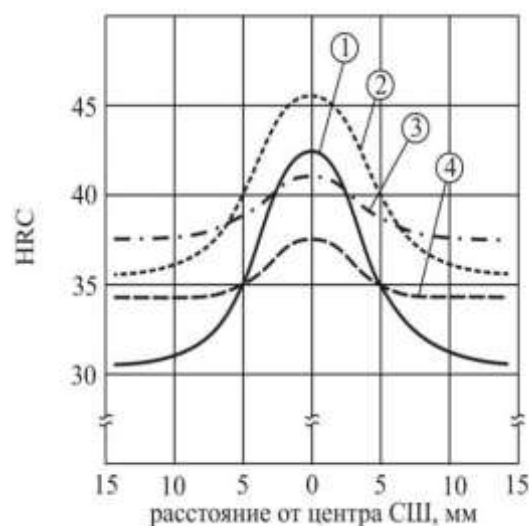


Рис. 2

Распределение макронапряжений (рис.1) и твердости (рис.2) по сечению сварного шва и околошовной зоны в сварном соединении сплава ВТ23:

- 1 – после ЭЛС;
- 2 – после Т.О. 625°C, 4 ч., охл. на воздухе;
- 3 – после Т.О. 860°C, 3 ч. + 625°C, 4 ч., охл. на воздухе;
- 4 – после В.О. 860°C, 3 ч. + 625°C, 4 ч., охл. с печью

Для того, чтобы повысить прочность, необходимо уменьшить размер частиц вторичной α -фазы, выделяющейся в процессе старения. В связи с этим температура второй ступени обработки была понижена до 450°C, когда скорость зарождения частиц превышает скорость их роста. Понижение температуры старения позволяет повысить прочность сварного соединения до 1110 МПа при незначительном снижении ударной вязкости.

Таким образом, температура первой ступени обработки должна быть на 100–130°C ниже температуры полиморфного превращения. Охлаждение заготовок необходимо проводить на воздухе, чтобы зафиксировать при нормальной температуре максимальное количество метастабильной β -фазы, распад которой при последующем нагреве до температур 600–625°C позволяет получить прочность выше 1100 МПа и ударную вязкость более 0,3 МДж/м². При уменьшении скорости охлаждения после обработки на первой ступени для получения требуемых значений σ_B и КСЧУ необходимо понижение температуры старения до 450°C.

1. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов / Под ред. д. т. н. проф. С.М. Гуревича. – Киев: Наукова думка, 1979. – 300 с.

2. Технологические основы сварки и пайки в авиастроении : Учебник для студентов вузов / Фролов В.А., Пешков В.В., Саликов В.А. и др.; Под общ. ред. В.А. Фролова. – 2-е изд. – М.: Интермет Инжиниринг, 04. – 576 с.

3. Лясоцкая В.С. Термическая обработка сварных соединений титановых сплавов / Под ред. д. т. н. Б.А. Колачева. – М.: Экомет, 03– 352

4. Сварные соединения титановых сплавов (Структура и свойства) / Моисеев В.Н., Куликов Ф.Р., Кириллов Ю.Г. – М.: Металлургия, 79.– 248 с.

5. Ильин А.А., Скворцова С.В., Попова Ю.А., Куделина И.М. Влияние термической обработки на формирование структуры и свойств крупногабаритных полуфабрикатов из сплава ВТ23//Титан, №4,10.– С. 48.